

ISSN 1979-7826

BERKALA ILMIAH TERBIT 3 KALI SETAHUN

Volume 3 - Nomor 1 - Maret 2011



ékosains

JURNAL ILMIAH LINGKUNGAN HIDUP

FORMULASI LEGAL DRAFTING PERDA BERBASIS LINGKUNGAN DALAM RANGKA PENGEMBANGAN PRAKTIK-PIKTIK TATA KELOLA PEMERINTAHAN YANG BAIK DI DAERAH (SEBUAH KONSEP)

I Gusti Aya Ketut Rachini Handayani

FOTODEGRADASI ZAT WARNA REMOVAL YELLOW FG DENGAN FOTOKATALIS KOMPOSIT TiO_2/SiO_2

Purnawan, C., Prihita, dan Qodri, A.A

BUDIDAYA PADI BERMAWASAN LINGKUNGAN DENGAN METODE SYSTEM OF RICE INTENSIFICATION (SRI) DAN PENGGUNAAN PUPUK ORGANIK CAIR

Ojeko Purnomo, Alimad Yulias, dan Sri Budiatud

APLIKASI METODE GRIES-SALTZMANN DENGAN TEKNIK IMPINGER SEBAGAI ALTERNATIF PENGUKURAN POLUTAN NO_2 DI UDARA

M. Masykuri dan Madijono

KARAKTERISTIK POLA PITA PROTEIN ANDOENTA WOODIANA LEA AKIBAT TERPAPAR LOGAM BERAT CADMIUM (Cd)

Sekarto

SINTESIS SENYAWA TURUNAN KITOSAN "CHITOSAN MODIFIED CARBOXYMETHYL (CS-NCM) DAN APLIKASINYA SEBAGAI AGEN PERBAIKAN MUTU KERTAS DAUR ULANG

Agung Nugroho Datur Saputra dan Lina Mohandani

PENURUNAN KADAR KROMIUM(VI) DENGAN SARGASSUM SP. SACCCHAROMYCESCEREVISIAE DAN KOMBINASINYA PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK

Sinardi



**PROGRAM STUDI ILMU LINGKUNGAN
PASCA SARJANA UNIVERSITAS SEBELAS MARET
IKATAN AHLI LINGKUNGAN HIDUP INDONESIA**

DAFTAR ISI

FORMULASI LEGAL DRAFTING PERDA BERBASIS LINGKUNGAN DALAM RANGKA PENGEMBANGAN PRAKTIK-PRAKTIK TATA KELOLA PEMERINTAHAN YANG BAIK DI DAERAH (SEBUAH KONSEP) I Gusti Ayu Ketut Rachmi Handayani.....	1
FOTODEGRADASI ZAT WARNA <i>REMAZOL YELLOW</i> FG DENGAN FOTOKATALIS KOMPOSIT $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ Purnawan, C., Patiha dan Qodri, A.A.....	17
BUDIDAYA PADI BERWAWASAN LINGKUNGAN DENGAN METODE <i>SYSTEM OF RICE INTENSIFICATION (SRI)</i> DAN PENGGUNAAN PUPUK ORGANIK CAIR Djoko Purnomo, Ahmad Yunus dan Sri Budiastuti.....	25
APLIKASI METODE GRIES-SALTZMANN DENGAN TEKNIK IMPINGER TUNGGAL SEBAGAI ALTERNATIF PENGUKURAN POLUTAN NO_2 DI UDARA M. Masykuri dan Mudjijono.....	33
KARAKTERISTIK POLA PITA PROTEIN <i>Anodonta Woodiana</i> Lea AKIBAT TERPAPAR LOGAM BERAT CADMIUM (Cd) Sunarto.....	41
SINTESIS SENYAWA TURUNAN KITOSAN " <i>CHITOSAN MODIFIED CARBOXYMETHYL (CS-MCM)</i> " DAN APLIKASINYA SEBAGAI AGEN PERBAIKAN MUTU KERTAS DAUR ULANG Agung Nugroho Catur Saputro dan Lina Mahardiani.....	47
PENURUNAN KADAR KROM(VI) DENGAN <i>SARGASSUM SP.</i> , <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> DAN KOMBINASINYA PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK Sunardi.....	55

Fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow Fg* Dengan Fotokatalis Komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$

¹Purnawan, C., ¹Patiha, ¹Qodri, A.A

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sebelas Maret, Surakarta

Abstrak

Telah dipelajari pengaruh sinergis pengembangan TiO_2 ke dalam SiO_2 dan pengujian aktivitas katalitiknya dalam proses fotodegradasi zat warna *Remazol Yellow FG* beserta karakterisasi fisiknya.

Komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ disintesis melalui proses sol-gel dengan bahan awal TiCl_4 dan $\text{Na}_2\text{-SiO}_3$. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$, pH larutan dan lama penyinaran sinar UV terhadap fotodegradasi zat warna *Remazol Yellow FG*. Identifikasi dan karakterisasi komposit dilakukan dengan Infrared Spectroscopy (IR) and X-Ray Diffraction (XRD). Kondisi fotodegradasi *Remazol Yellow FG* oleh komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ dilakukan dengan variasi konsentrasi komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ atau perbandingan Ti:Si sebesar 1:0,1; 1:0,5; 1:1; 1:1,5; 1:2. Variasi pH larutan sebesar 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0 dan variasi waktu penyinaran sinar UV selama 3, 6, 12, 24, 30 dan 48 jam.

Hasil penelitian menunjukkan puncak karakteristik XRD komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ pada 2θ sebesar 22,94 derajat dan 36,24 derajat. Karakteristik IR menunjukkan serapan Ti-O-Si pada bilangan gelombang 962 cm^{-1} . Kondisi optimum fotokatalis fotodegradasi *Remazol Yellow FG* dengan komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ diperoleh pada komposisi Ti:Si = 1:1, pada pH 3 dengan waktu penyinaran UV selama 24 jam dengan penurunan konsentrasi zat warna sebesar 95,84%.

Kata Kunci: Fotodegradasi *Remazol Yellow FG*, komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$

PENDAHULUAN

Limbah cair sebagai hasil samping dari aktivitas industri sering menimbulkan permasalahan bagi lingkungan (Krim et al., 2006). Limbah cair yang mengandung bahan-bahan berbahaya dan beracun dapat mengganggu proses-proses biologi

yang terjadi di dalamnya, dan juga dapat mengganggu estetika badan perairan akibat munculnya bau busuk. Pencemaran air oleh logam-logam berat maupun limbah-limbah organik dapat berasal dari proses-proses industri seperti industri metalurgi, industri penyamakan kulit, industri pembuatan fungisida, industri cat dan industri tekstil (Redhana, 1994).

Email: candra_pr@yahoo.com

Limbah cair tekstil yang mengandung zat warna dapat memberikan masalah tersendiri karena zat warna tekstil berbahaya bagi makhluk hidup khususnya manusia. Limbah zat warna tekstil menjadi perhatian tersendiri hal ini dikarenakan : (1) Konsumsi tekstil akan selalu mengikuti peningkatan populasi penduduk, (2) Sebagian besar zat warna dibuat agar mempunyai resistensi terhadap pengaruh lingkungan seperti efek pH, suhu dan penyebaran mikroba (Albanis, 2000), (3) Pengolahan limbah zat warna menjadi sulit karena struktur aromatik pada zat warna sulit terdegradasi.

Salah satu jenis zat warna sintetik yang banyak digunakan terutama di wilayah Surakarta dan sekitarnya yang merupakan salah satu sentral industri batik adalah *Remazol Yellow FG*. *Remazol Yellow FG* menjadi pilihan karena dipandang cukup mewakili zat warna industri tekstil, sementara gugus kromofornya mudah sekali dalam memberikan warna-warna yang cerah dan tahan uji. Di dalam lingkungan senyawa *Remazol Yellow FG* sebenarnya dapat mengalami fotodegradasi secara alami oleh adanya sinar UV dari cahaya matahari, namun reaksi ini berlangsung relatif lambat, karena intensitas cahaya uv yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah sehingga akumulasi *Remazol Yellow FG* ke dasar perairan atau tanah lebih cepat daripada proses fotodegradasinya (Gunlazuardi, 2001; Hamdan, 1992; Lachheb et al., 2002).

Saat ini berbagai teknik atau metode penanganan limbah tekstil telah dikembangkan, diantaranya adalah metode fotodegradasi. Dengan metode fotodegradasi ini, zat warna akan diurai menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana yang lebih aman untuk lingkungan (Corrent et al., 1999; Cotton et al., 1999; Ekimov et al., 1985 dan Gunlazuardi, 2000). Untuk mengoptimalkan kemampuan sinar UV dalam degradasi zat warna *Remazol Yellow*,

maka perlu digunakan fotokatalis. Titanium dioksida dikenal sebagai fotokatalis yang banyak diterapkan untuk mengatasi masalah lingkungan seperti pencemaran limbah industri yang mengandung zat warna, fenol, dan sebagainya. Namun, penggunaan TiO_2 digunakan dalam bentuk serbuk tidak cukup efektif, karena diperlukan jumlah TiO_2 yang cukup banyak. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan cara mengembangkannya dalam matriks seperti lempung zeolit, atau dengan membuatnya sebagai komposit dengan matriks silika. Pengembangan TiO_2 dalam lempung maupun zeolit dilaporkan dapat menghasilkan distribusi TiO_2 yang merata dengan ukuran yang relatif kecil sehingga menghasilkan luas permukaan yang relatif besar. Hal ini dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO_2 (Hapsari, 2008).

Dalam penelitian ini, dilakukan kajian tentang efektivitas fotodegradasi zat warna *Remazol Yellow FG* menggunakan komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$.

METODE PENELITIAN

Bahan :

Bahan-bahan yang digunakan antara lain: Zat warna *Remazol Yellow FG*, Asam Klorida, Asam Sulfat, Titanium (IV) klorida, Natrium Silikat, Metanol, Isobutanol, CTABr, Asam Nitrat, ammonia, Indikator 1,5- Diphenylcarbazine, Akuades, kertas saring Whatman 42.

Alat :

Alat-alat yang digunakan antara lain: Spektrofotometer X-Ray Diffraction (*Shimadzu XRD-6000*), Spektrofotometer UV-VIS (*Shimadzu PC 1601*), Spektroskop FT-IR (*Shimadzu PC 8201*), Furnace (Thermolyne 48000), Oven (*Memmert*), pH meter (*Walklab TI9000*), Neraca analitis (*Sartorius BP 110*), Stop watch, Hot Plate, Lampu UV 9 W (*Goldstar* ; SNI : 04-6504-2001), Magnetic stirrer, Desikator, Alat – alat gelas.

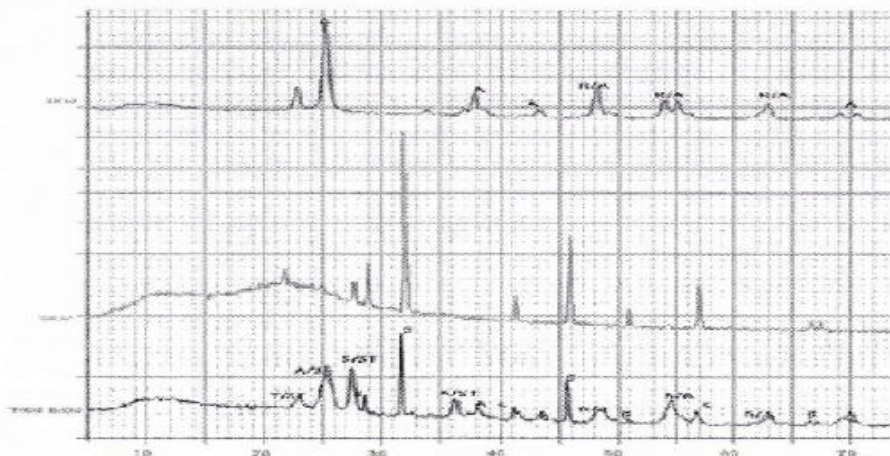
Prosedur penelitian

Sintesis komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ menggunakan metode sol-gel dengan bahan prekursor Na_2SiO_3 dan TiCl_4 yang digunakan menyesuaikan dengan variasi perbandingan mol Ti/Si (1:0,1; 1:0,5; 1:1,0; 1:1,5 dan 1:2,0). Komposit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer IR dan XRD. Sebanyak 0,1 g masing-masing variasi komposit ditambahkan ke dalam 25 mL larutan zat warna *Remazol Yellow FG* 20 ppm dan disinari lampu UV dengan $\lambda = 254$ nm dalam reaktor selama 24 jam. Hal yang sama dilakukan pada variasi pH 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10. Kemudian masing-masing larutan dianalisis dengan spektro-

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis material komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ menggunakan melalui proses sol-gel. Hasil karakterisasi IR dan XRD komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ mengindikasikan adanya ikatan antara TiO_2 dan SiO_2 . Hal ini ditunjukkan oleh perubahan spektra dan difraktogram komposit.

Dari Gambar 1 diketahui puncak-puncak utama karakteristik milik TiO_2 dan SiO_2 . TiO_2 memiliki puncak utama pada 2θ sebesar 25,49 derajat dan SiO_2 memiliki puncak utama pada 2θ sebesar 32,01. Adanya penurunan intensitas pada puncak utama milik TiO_2 dan SiO_2 dimungkinkan karena terjadinya pembentukan $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$



Ket. S:SiO₂, T:TiO₂, A:TiO₂ anatase, R:TiO₂ Rutile, ST:SiO₂/TiO₂

Gambar 1. Spektra difraksi sinar X dari komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ hasil sintesis

fotometer UV-Vis sehingga didapatkan komposisi dan pH optimum. Sedangkan optimasi waktu dilakukan pada waktu 3, 6, 12, 24 dan 48 jam dalam suasana pH optimum. Pengukuran konsentrasi zat warna *Remazol Yellow FG* dilakukan pada panjang gelombang maksimum 414,50 nm.

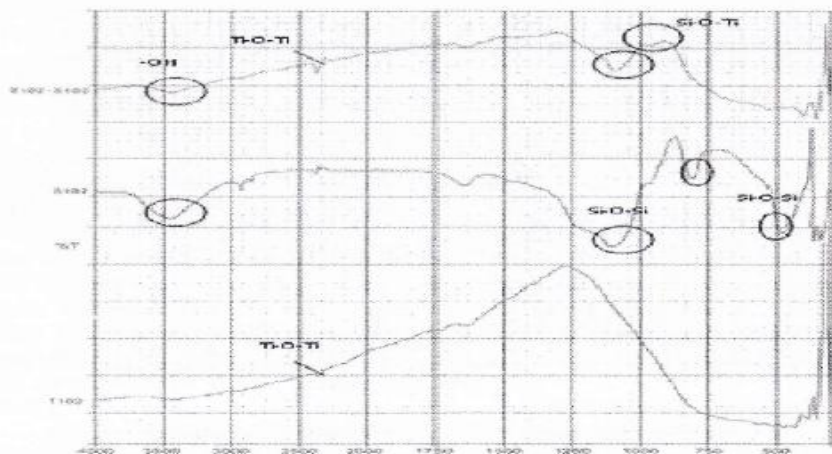
yang ditunjukkan oleh adanya puncak-puncak baru yang merupakan karakteristik komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ yaitu diantaranya pada 2θ sebesar 22,94 derajat dan 36,24 derajat. Hal ini juga diperkuat dengan adanya intensitas SiO_2 yang hilang pada difraktogram komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ yaitu pada 2θ sebesar 21,73 derajat.

- Untuk memperkuat dugaan dari analisa XRD, dilakukan analisa gugus fungsi dengan FT-IR. Dari Gambar 2 diketahui bahwa SiO_2 memiliki serapan pada $470,63 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan rocking mode ikatan Si-O-Si. Serapan pada $802,39 \text{ cm}^{-1}$ dan $1095,57 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi ulur asimetri Si-O dari Si-O-Si. Serapan lemah pada sekitar $2337,72 \text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya vibrasi Ti-O-Ti dari TiO_2 . Pembentukan ikatan Si-O-Ti ditandai dengan hilangnya serapan $470,63 \text{ cm}^{-1}$, $802,39 \text{ cm}^{-1}$ dan $1095,57 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan serapan karakteristik Si-O (Si-O-Si), serta munculnya serapan baru sekitar 962 cm^{-1} yang merupakan serapan gugus Si-O-Ti (Ehman et al., 1999).

Fotodegradasi zat warna Rema-

panjang gelombang maksimum $414,50 \text{ nm}$. Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa persentase rata-rata penurunan konsentrasi Zat Warna Remazol Yellow FG paling rendah adalah pada perbandingan komposit 1: 0,1 yaitu sebesar 24,28%. Sedangkan persentase penurunan konsentrasi Zat Warna Remazol Yellow FG paling tinggi adalah pada perbandingan komposit 1:1 yaitu sebesar 91,89%.

Dari hasil percobaan ini dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi SiO_2 yang ada dalam komposit, semakin besar pula aktivitas fotokatalitiknya. Akan tetapi setelah mencapai kondisi optimum, aktivitasnya menurun. Hal ini disebabkan karena persebaran TiO_2 yang merata pada silika sebagai host material akan me-



Gambar 2. Karakteristik hasil sintesis komposit $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan spektroskopi Infra Merah

zol Yellow FG terkatalis komposit semikonduktor $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dilakukan dengan menggunakan sinar Ultraviolet (UV) dari sumber lampu UV dengan panjang gelombang 254 nm . Pengukuran konsentrasi zat warna Remazol Yellow FG dilakukan pada

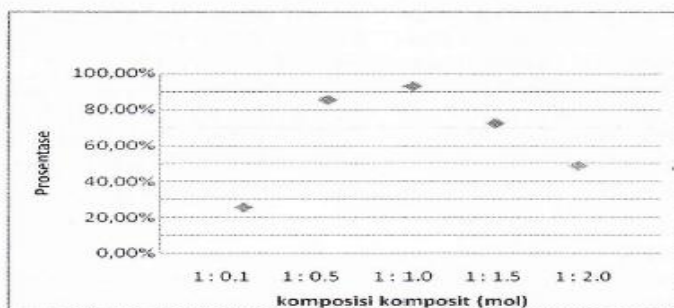
nyebabkan ukuran TiO_2 menjadi lebih kecil (mendekati ukuran nano), sekaligus akan memperluas permukaan TiO_2 yang dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya. Pada komposisi molar Ti : Si perbandingan 1: 0,1 dan 1: 0,5, aktivitas katalitiknya

lebih kecil. Hal ini disebabkan karena pada perbandingan komposisi TiO_2 yang terlalu besar, molekul-molekul TiO_2 akan berdesak-desakan pada host silika sehingga akan membentuk agregat-agregat TiO_2 yang dapat menurunkan aktivitas fotokatalitiknya (Hapsari, 2008). Demikian pula pada saat konsentrasi SiO_2 dalam komposit terlalu besar, maka aktivitas katalitiknya akan menurun, karena saat SiO_2 yang terkandung dalam komposit terlalu besar, kadar SiO_2 bebasnya akan semakin besar. Keberadaan SiO_2 bebas ini kemungkinan menyebabkan interaksi antara sinar UV dengan TiO_2 akan terhambat. Hal ini disebabkan karena SiO_2 bebas akan menghalangi sinar UV sampai pada permukaan katalis, sehingga me-

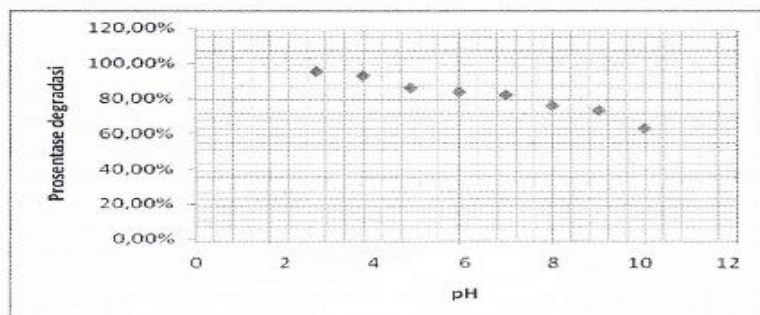
nyebabkan aktivitas katalitiknya juga akan menurun.

Dari analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa komposisi komposit TiO_2 - SiO_2 berpengaruh signifikan terhadap tingkat fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow FG. Komposisi komposit optimum untuk proses fotodegradasi adalah pada komposisi 1:1 dengan persentase pengurangan konsentrasi Zat Warna Remazol Yellow FG sebesar 91,89%.

Variasi pH larutan awal zat warna Remazol Yellow yang digunakan adalah 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Hasil fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow FG untuk masing-masing pH adalah sebagai berikut.



Gambar 3. Penurunan konsentrasi zat warna dengan variasi komposisi komposit TiO_2 - SiO_2



Gambar 4. penurunan konsentrasi zat warna dengan variasi pH larutan awal

Berdasarkan Gambar 4, didapatkan rata-rata penurunan konsentrasi Zat Warna *Remazol Yellow* FG bervariasi antara 64,02 % sampai 95,84%. Penurunan konsentrasi tertinggi adalah sebesar 95,84% yang terjadi pada pH 3. Berdasarkan grafik dapat diketahui pula bahwa prosentase penurunan konsentrasi Zat Warna *Remazol Yellow* FG

and Akbal, 2010)

Zat Warna *Remazol Yellow* FG memiliki gugus sulfonat di dalam strukturnya, dimana gugus sulfonat ini bermuatan negatif, sehingga keasaman larutan dapat mendukung adsorpsi zat warna ke permukaan fotokatalis. Hal ini yang menyebabkan pada pH asam, efektifitas foto-

- Pada pH asam ($\text{pH} < 6,8$): $\text{Ti} - \text{OH} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{TiOH}_2^+$
- Pada pH basa ($\text{pH} > 6,8$): $\text{Ti} - \text{OH} + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{TiO}^- + \text{H}_2\text{O}$

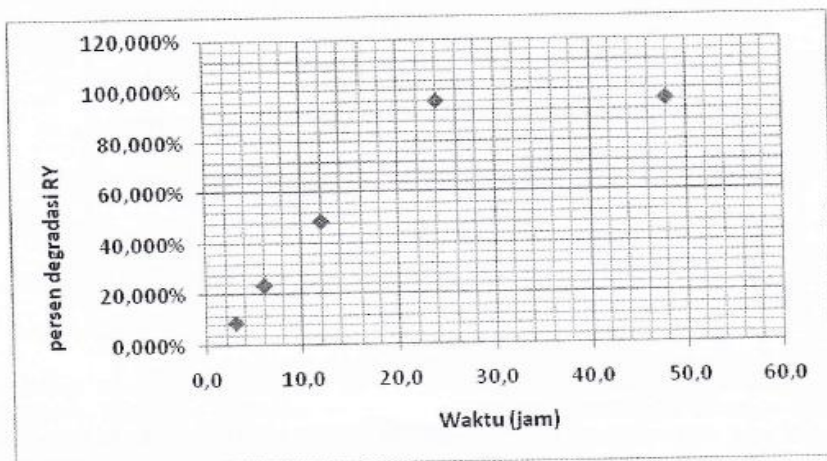
semakin meningkat seiring dengan penurunan pH larutan.

Besar kecilnya pH mempengaruhi adsorpsi zat warna pada permukaan TiO_2 , dimana proses adsorpsi zat warna pada permukaan material fotokatalis ini merupakan tahapan penting dalam proses fotodegradasi (Neppolian et al., dalam Gumus and Akbal, 2010). Permukaan TiO_2 akan bermuatan positif pada medium asam dan bermuatan negatif pada medium basa sebagaimana terlihat pada persamaan reaksi berikut (Muruganandham dalam Gumus

degradasi semakin meningkat.

Dari analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa pH larutan berpengaruh signifikan terhadap tingkat fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow* FG. Semakin rendah pH larutan, fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow* FG semakin besar dan pH optimum adalah pH 3.

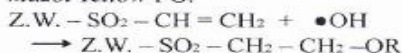
Variasi waktu penyinaran oleh sinar UV yang digunakan adalah 3, 6, 12, 24 dan 48 jam. Hasil fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow* FG untuk masing-masing waktu adalah sebagai berikut.



Gambar 5. penurunan konsentrasi zat warna dengan variasi waktu penyinaran UV

Dari Gambar 5 dapat diketahui bahwa persentase rata-rata penurunan kadar Zat Warna *Remazol Yellow* FG bervariasi antara 8,73 % - 94,73 %, dimana persentase degradasi terbesar terletak pada penyinaran UV selama 48 jam yaitu sebesar 94,73%. Penurunan konsentrasi zat warna semakin besar seiring dengan lamanya waktu penyinaran UV. Akan tetapi pada range waktu antara 24 jam hingga 48 jam tidak terjadi penurunan konsentrasi yang signifikan.

Hasil ini sesuai dengan hasil yang didapat oleh Wijaya dkk. (2006) yang membuktikan bahwa semakin lama penyinaran sinar UV maka aktivitas fotokatalitik TiO_2 juga akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin lama penyinaran sinar UV, maka semakin banyak elektron yang terus tereksitasi sehingga semakin banyak pula h^+ yang terbentuk. Semakin banyak h^+ , maka radikal hidroksil juga akan semakin banyak yang akan berperan dalam proses fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow* FG.



Dari analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa waktu penyinaran berpengaruh signifikan terhadap tingkat fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow* FG dan waktu optimum adalah waktu penyinaran selama 24 jam.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Komposisi komposit TiO_2 - SiO_2 berpengaruh signifikan terhadap tingkat fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow* FG dan komposisi komposit optimum adalah pada komposisi 1:1

2. Semakin rendah pH larutan, maka fotodegradasi *Remazol Yellow* FG akan se-

makin besar dan pH optimum larutan adalah pH 3.

3. Semakin lama penyinaran UV, fotodegradasi *Remazol Yellow* FG akan semakin besar dan waktu optimum adalah waktu penyinaran selama 24 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Albanis T.A., D.G. Hela, T.M. Sakellarides and T.G. Danis. 2000. *Removal of Dyes from Aqueous Solution by Adsorption on Mixtures of Fly Ash and Soil in Batch and Column Techniques*, *Global Nest : The Int. J. Vol. 2* no. 3 pp 237-244.
- Cotton, F.A., Wilkinson, G., and Gaus, P.L., 1999. *Basic Inorganic Chemistry*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Corrent, S., Cosa, G., Scaiano, J.C., Gallego, M.S., Alvaro, M., Garcia, H., 1999, *Chem. Mater.*, 13, 715-722. 3.
- Ehrman, S.H., Friedlander S.K., 1999. Phase Segregation in Binary $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ and $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticle aerosols formed in a pre-mixed flame, *Journal of Material Research*, 14(12), 4551-4561
- Ekimov, A. I., Efros, A. L., dan Anuchenko, A. A., 1985. Quantum Size Effect in Semiconductor Microcrystals. *Solid State Communication*, 921-924
- Gumus, D., Akbal, F., 2010. Photocatalytic Degradation of Textile Dye and Wastewater. *Springer Science & Business Media*, 10.1007/s11270-010-0520
- Gunlazuardi, J., 2000. *Fotoelektrokatalisis untuk Detoksifikasi Air*, Prosiding, Seminar Nasional Elektrokimia, 1-21.